



(19) RU (11) 2 200 337 (13) C2  
 (51) МПК<sup>7</sup> G 02 B 5/22

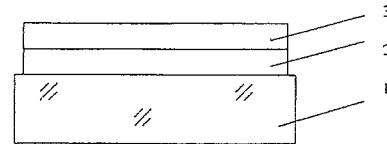
РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
 ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000129715/28 , 27.11.2000	(71) Заявитель: Галиутдинов Рафаэль Тагирович, Кашапов Наиль Файкович
(24) Дата начала действия патента: 27.11.2000	
(43) Дата публикации заявки: 27.10.2002	(72) Изобретатель: Галиутдинов Р.Т., Кашапов Н.Ф.
(46) Дата публикации: 10.03.2003	
(56) Ссылки: RU 18315 U1, 10.06.2001. Оптический журнал, т. 65, №3, 1998, с.83-84. US 6123465 A, 26.09.2000. US 5715103 A, 03.02.1998. US 4960310 A, 02.10.1990. US 6104530 A, 15.08.2000.	(73) Патентообладатель: Казанский государственный технологический университет
(98) Адрес для переписки: 420015, г.Казань, ул.К.Маркса, 68, КГТУ, патентный отдел	

(54) НЕОТРАЖАЮЩИЙ НЕЙТРАЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР

(57) Неотражающий нейтральный оптический фильтр может быть использован для равномерного ослабления падающего излучения. Фильтр включает прозрачную в спектральном диапазоне 0,4-0,7 мкм подложку, расположенный на подложке частично пропускающий свет слой титана и антиотражающий свет слой поверх него. Антиотражающий свет слой выполнен из оксида титана  $TiO_x$  при  $1 < x < 2$ , где  $x$  - степень окисления оксида титана, с показателем поглощения слоя оксида титана, равным 0,17-0,2. Геометрические толщины слоев титана и оксида титана составляют



Фиг.1

R U 2 2 0 0 3 3 7 C 2

R U ? 2 0 0 3 3 7 C 2



(19) RU (11) 2 200 337 (13) C2  
(51) Int. Cl. 7 G 02 B 5/22

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2000129715/28 , 27.11.2000

(24) Effective date for property rights: 27.11.2000

(43) Application published: 27.10.2002

(46) Date of publication: 10.03.2003

(96) Mail address:  
420015, g.Kazan', ul.K.Marksa, 68, KGTU,  
patentnyj otdel

(71) Applicant:  
Galjautdinov Rafaehl' Tagirovich,  
Kashapov Nail' Faikovich

(72) Inventor: Galjautdinov R.T.,  
Kashapov N.F.

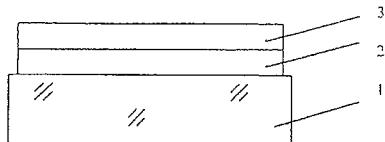
(73) Proprietor:  
Kazanskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij  
universitet

(54) NON-REFLECTING NEUTRAL OPTICAL FILTER

(57) Abstract:

FIELD: optics. SUBSTANCE: non-reflecting neutral optical filter can be employed for uniform attenuation of incident radiation. Filter has substrate transparent in spectral range from 0.4 to 0.7 mcm, titanium layer partially transmitting light located on substrate and antireflection layer above it. Antireflection layer is made of titanium oxide  $TiO_x$  ( with  $1 < x < 2$  where  $x$  is oxidation degree of titanium oxide ) with absorption factor of layer of titanium oxide equal to 0.17-0.2. Geometric thicknesses of layers of

titanium and titanium oxide correspondingly are 0.028-0.03 and 0.04-0.045 mcm. EFFECT: diminished value of integral reflection factor and number of layers in filter. 3 dwg



Фиг.1

RU 2 200 337 C2

RU ? 2 0 0 3 3 7 C 2

Р 2 0 0 3 3 7 С 2

Изобретение относится к области оптического приборостроения, а именно к элементам оптико-электронных систем, которые могут быть использованы для равномерного ослабления падающего излучения при низком отражении в широкой области спектра.

Известен неотражающий нейтральный оптический фильтр с величиной коэффициента пропускания около 10%, состоящий из девяти слоев: оксида титана (IV) - никеля - оксида титана (IV) - оксида кремния (IV) - оксида титана (IV) - никеля - оксида кремния (IV) - никеля - оксида кремния (IV). Дизэлектрические слои имеют показатели преломления  $n_1=1,45$  (оксид кремния (IV)) и  $n_2=2,3$  (оксид титана (IV)) (Гришина Н.В. Синтез широкополосных металлоизделий оптических покрытий. Опт. и спектр, т. 72, вып.4, 1992, с. 1033-1038). Эта конструкция имеет интегральное отражение в видимой области спектра 1,32%.

Основными недостатками такого нейтрального оптического фильтра являются, во-первых, фильтр имеет большое количество слоев, во-вторых, при вычислении используются оптические постоянные массивного никеля и не учитываются изменения оптических постоянных металлического слоя при уменьшении его толщины, в-третьих, указанная конструкция чувствительна к неточностям нанесения слоев по толщине, что приводит к ухудшению рассчитанных спектральных характеристик при технической реализации этой конструкции.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению по технической сущности является неотражающий нейтральный оптический фильтр, состоящий из стеклянного экрана, с одной стороны которого нанесен слой из титана толщиной  $h = 50\text{ \AA}$  и дизэлектрический слой поверх него из оксида алюминия (III) с показателем преломления  $n=1,62$  и оптической толщиной, равной четверти длины волны  $\lambda_0 = 0,45 \text{ мкм}$ , на другую сторону которого нанесен слой титана толщиной  $h = 30\text{ \AA}$  (П.П. Яковлев.

Антибликовые покрытия для защитных экранов дисплеев // Оптический журнал, т. 65, 3, 1998, с. 83-84).

Основными недостатками предложенного неотражающего нейтрального оптического фильтра являются:

- высокое интегральное отражение (среднее отражение в видимой области спектра 0,4-0,7 мкм равно 1,76%, а на длине волны 0,4 мкм величина отражения достигает 5%);

- необходимость нанесения трех слоев; - нанесение оптических слоев на две поверхности, что удлиняет технологический процесс изготовления неотражающего нейтрального оптического фильтра.

Технической задачей изобретения является уменьшение интегрального коэффициента отражения и сокращение числа слоев неотражающего нейтрального оптического фильтра.

Поставленная задача решается разработкой неотражающего нейтрального оптического фильтра, включающего подложку, прозрачную в спектральном диапазоне 0,4-0,7

мкм, расположенный на подложке частично пропускающий свет слой титана и антиотражающий свет слой поверх него. Причем антиотражающий слой выполнен из оксида титана  $\text{TiO}_x$  при  $1 < x < 2$ , где  $x$  - степень окисления оксида титана, а геометрические толщины слоев титана и оксида титана составляют 0,028-0,03 и 0,04-0,045 мкм соответственно, показатель поглощения слоя оксида титана при этом равен 0,17-0,2.

Фиг. 1 схематически представляет в разрезе неотражающий нейтральный оптический фильтр.

Фиг. 2 показывает спектральные коэффициенты отражения прототипа и предлагаемого неотражающего нейтрального оптического фильтра (кривые 4 и 5 соответственно).

Фиг. 3 представляет устройство, с помощью которого может быть получен неотражающий нейтральный оптический фильтр.

Неотражающий нейтральный оптический фильтр (фиг.1) состоит из прозрачной в спектральном диапазоне 0,4-0,7 мкм подложки 1, частично пропускающего свет слоя титана 2, расположенного на подложке 1, и антиотражающего свет слоя 3 поверх него из оксида титана  $\text{TiO}_x$  при  $1 < x < 2$ , где  $x$  - степень окисления оксида титана, с показателем поглощения оксида титана, равным 0,17-0,2, причем геометрические толщины слоев титана 2 и оксида титана 3 составляют соответственно 0,028-0,03 и 0,04-0,045 мкм.

Этот неотражающий нейтральный оптический фильтр имеет комплексный амплитудный коэффициент отражения  $r$ , определяющий связь между амплитудой, падающей со стороны антиотражающего свет слоя 3, и амплитудой отраженной от неотражающего нейтрального оптического фильтра плоской электромагнитной волны

$$r = \frac{n_0 \cdot M_{11} - n_s \cdot M_{22} + (n_0 \cdot n_s \cdot M_{12} - M_{21})}{n_0 \cdot M_{11} + n_s \cdot M_{22} + (n_0 \cdot n_s \cdot M_{12} + M_{21})}, \quad (1)$$

где  $n_0, n_s$  - показатели преломления ограничивающих сред (исходной среды и подложки соответственно).

Величины  $M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}$  являются элементами матрицы интерференции:

$$50 \begin{bmatrix} M_{11} & i \cdot M_{12} \\ i \cdot M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_1 \cdot h_2) & \frac{i}{n_2} \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_2 \cdot h_2) \\ i \cdot n_2 \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_2 \cdot h_2) & \cos(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_2 \cdot h_2) \end{bmatrix}.$$

$$55 \begin{bmatrix} \cos(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) & \frac{i}{n_3} \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) \\ i \cdot n_3 \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) & \cos(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) \end{bmatrix},$$

$$60 \begin{bmatrix} \cos(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) & \frac{i}{n_3} \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) \\ i \cdot n_3 \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) & \cos(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_3 \cdot h_3) \end{bmatrix},$$

(2)

где  $\tilde{n}_2$  - комплексный показатель преломления частично пропускающего свет

R U 2 0 0 3 3 7 C 2

слоя титана 2,  $\tilde{n}_3 = n_3 - ik_3$  - комплексный

показатель преломления антиотражающего свет слоя 3 ( $n_3$  - показатель преломления,  $k_3$  - показатель поглощения) из  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ ,  $h_2$  и  $h_3$  - геометрические толщины частично пропускающего свет слоя 2 титана и антиотражающего свет слоя 3 из оксида титана  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ , где  $x$  - степень окисления оксида титана, соответственно  $\lambda$  - длина волны,  $i$  - мнимая единица.

Спектральный коэффициент отражения  $R(\lambda)$  и скачок фазы между амплитудой, падающей со стороны антиотражающего свет слоя 3, и амплитудой, отраженной от неотражающего нейтрального оптического фильтра - плоской электромагнитной волны  $r$  определяются из выражения (1). Так, если ограничивающие среды прозрачны и углы падения и преломления вещественны, то имеют место соотношения:

$$R = r^* r; \quad (3)$$

$$r = \text{Im } r / \text{Re } r, \quad (4)$$

где  $*$  означает комплексное сопряжение;

$\text{Re}$  и  $\text{Im}$  означают действительную и мнимую части комплексной величины.

Рассмотрим неотражающий нейтральный оптический фильтр с коэффициентом пропускания 10% и низким отражением в видимой области спектра 0,45-0,7 мкм. Для оценки близости спектральных характеристик получаемого покрытия к требуемым характеристикам вводится оценочный функционал

$$F = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [R_u(\lambda) - R(\lambda)]^2 d\lambda, \quad (5)$$

где  $[\lambda_1, \lambda_2]$  - диапазон длин волн, в котором производится синтез;

$R_u(\lambda)$  - измеренный спектральный коэффициент отражения, синтезируемого неотражающего нейтрального оптического фильтра. В данном случае  $\lambda_1=0,4$  мкм,  $\lambda_2=0,7$  мкм,  $R_u(\lambda)=0$ .

Задача синтеза рассматривается в вариационной постановке и сводится к минимизации функционала по толщине слоя и по значению комплексного показателя преломления антиотражающего свет верхнего слоя 3. В качестве начального приближения ищется решение  $\tilde{n}_3, h_3 = 0$  в одной

центральной спектральной точке  $\lambda=0,55$  мкм и находится требуемая толщина антиотражающего свет слоя 3  $h_3$ , которая при полученным комплексном показателе преломления антиотражающего

слоя 3  $\tilde{n}_3$  удовлетворяет заданному

нулевому коэффициенту отражения в этой точке.

Синтезированный неотражающий нейтральный оптический фильтр обеспечивает интегральное отражение в видимой области спектра  $<1\%$ . Неотражающий нейтральный оптический фильтр имеет такие толщины частично пропускающего свет слоя 2 титана и антиотражающего свет слоя 3 из оксида

титана  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ ,  $h_2$  и  $h_3$ , которые приводят к тому, что амплитудные коэффициенты отражения от границ раздела воздух - антиотражающий свет слой 3 из оксида титана и антиотражающий свет слой 3 из оксида титана - частично пропускающий свет металлический слой 2 из титана находятся в противофазе. Одновременно с этим комплексный показатель преломления антиотражающего свет слоя 3 из оксида

титана  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ , обеспечивает равенство этих амплитуд. Таким образом выполняются условия нулевого отражения.

На фиг. 1 схематически представлен неотражающий нейтральный оптический фильтр, состоящий из прозрачной в спектральном диапазоне 0,4-0,7 мкм подложки 1 и расположенных на ней последовательно частично пропускающего свет слоя 2 из титана толщиной  $h_2=0,029$  мкм, антиотражающего слоя 3 из оксида титана  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ , с показателем поглощения  $k_3=0,17-0,2$  и толщиной  $h_3=0,04-0,045$  мкм.

На фиг. 2 показаны спектральные коэффициенты отражения прототипа и предлагаемого неотражающего нейтрального оптического фильтра (кривые 4 и 5 соответственно).

На фиг. 3 изображено устройство струйного высокочастотного индукционного (ВЧИ) плазмотрона в динамическом вакууме, с помощью которого осуществлялось нанесение неотражающего нейтрального оптического фильтра. Устройство содержит индуктор 6, специальный кронштейн 7; разрядную камеру 8; рубашку охлаждения 9. Индуктор 6 представляет собой трехвитковую катушку диаметром 0,07 м и длиной 0,07 м, изготовленную из медной трубы, охлаждаемую протекающей по ней водой. Индуктор 6 крепится на специальном кронштейне 7, который позволяет перемещать индуктор 6 вдоль разрядной камеры 8. Разрядная камера 8 и рубашка охлаждения 9 представляют цельносварную конструкцию, состоящую из двух коаксиальных кварцевых трубок с протекающей между ними охлаждающей водой. Плазмотрон крепится в отверстии базовой платы 10 при помощи фланца 11 и герметизируется уплотнительным кольцом 12 из вакуумной резины. При напылении используется аксиальная подача плазмообразующего газа и напыляемого пленкообразующего материала

13.

Использование неотражающего нейтрального оптического фильтра, включающего подложку 1, расположенного на подложке частично пропускающего свет слоя 2 титана и поверх него антиотражающего свет

слоя 3 оксида титана  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ , где  $x$  - степень окисления оксида титана, с показателем поглощения слоя 3 оксида титана, равным 0,17-0,2, и геометрическими толщинами слоев титана 2 и оксида титана 3, равными 0,028-0,03 и 0,04-0,045 мкм соответственно, приводит к уменьшению интегрального отражения и к сокращению числа слоев нейтрального оптического фильтра.

Неотражающий нейтральный оптический фильтр получают следующим способом. Подложки 1, представляющие собой круглые

R U ? 2 0 0 3 3 7 C 2

плоскопараллельные полированные диски из оптического стекла К-8, очищают этиловым спиртом. Затем подложки 1 помещают в вакуумную плазменную установку над верхним срезом плазмотрона. Предварительно поверхность, на которую впоследствии наносят требуемые слои, обрабатывают плазменным потоком при следующих режимах плазменной установки: частота генератора 1,76 МГц, ток анода лампы  $I_A=1,0-1,3$  А, ток сетки  $I_{c1}=100-150$  мА, напряжение на сетке  $U_{c2}=200-220$  В, расход плазмообразующего газа Ar  $G=0,07-0,08$  г/с, давление  $p=50-80$  Па, расстояние до верхнего витка индуктора 6 равно 120-150 мм в течение 10 мин. В процессе обработки температура подложки 1 поднимается до 250-300 °С и поверхность подложки 1 очищается и модифицируется. Затем индуктор 6 медленно опускают и в центральной зоне плазмы начинают распыление последовательно титана и оксида титана. Процесс напыления проходит при следующих режимах: ток анода лампы  $I_A=1,0-1,3$  А, ток сетки  $I_{c1}=140-190$  мА, напряжение на сетке  $U_{c2}=140-200$  В, расход плазмообразующего газа Ar  $G=0,07-0,08$  г/с, давление  $p=50-80$  Па, расстояние до верхнего витка индуктора 6 равно 150-200 мм в течение 10 мин. Это соответствует изменению внутренних характеристик разряда и плазменной струи -  $n_e=10^{16}-10^{19}$  м<sup>-3</sup>,  $P_p=0,1$  до 4 кВт,  $j_i=15-25$  А•м<sup>-2</sup>,  $W_i=10-30$  эВ,  $\alpha_\tau=5\cdot10^2-5\cdot10^3$  Вт•м<sup>-2</sup>, где  $n_e$  - концентрация электронов,  $P_p$  - мощность разряда,  $j_i$  - плотность ионного тока поступающего на

поверхность,  $W_i$  - энергия ионов,  $\alpha_\tau$  - плотность теплового потока.

На подложку сначала осаждают на расстоянии от индуктора 6, равном 170 - 190 мм, частично пропускающий свет слой 2 из титана геометрической толщиной 0,028 - 0,03 мкм. Антиотражающий свет слой 3 из оксида титана  $TiO_x$ , при  $1 < x < 2$ , осаждают на расстоянии от индуктора 6 равном 170-190 мм со скоростью  $5-10$  Å/с, геометрическая

толщина слоя составляет 0,04-0,045 мкм, показатель поглощения - 0,17-0,2. Толщины слоев контролируют по времени нанесения. Технологический процесс напыления неотражающего нейтрального оптического фильтра составляет 0,5 ч. Интегральный коэффициент отражения полученного неотражающего нейтрального оптического фильтра имеет величину менее 1%, при коэффициенте пропускания около 10%.

#### Формула изобретения:

Неотражающий нейтральный оптический фильтр, включающий прозрачную в спектральном диапазоне 0,4-0,7 мкм подложку, расположенный на подложке частично пропускающий свет слой титана и антиотражающий свет слой поверх него, отличающийся тем, что антиотражающий свет слой выполнен из оксида титана  $TiO_x$  при  $1 < x < 2$ , где  $x$  - степень окисления оксида титана, с показателем поглощения слоя оксида титана, равным 0,17-0,2, причем геометрические толщины слоев титана и оксида титана составляют соответственно 0,028-0,03 и 0,04-0,045 мкм.

35

40

45

50

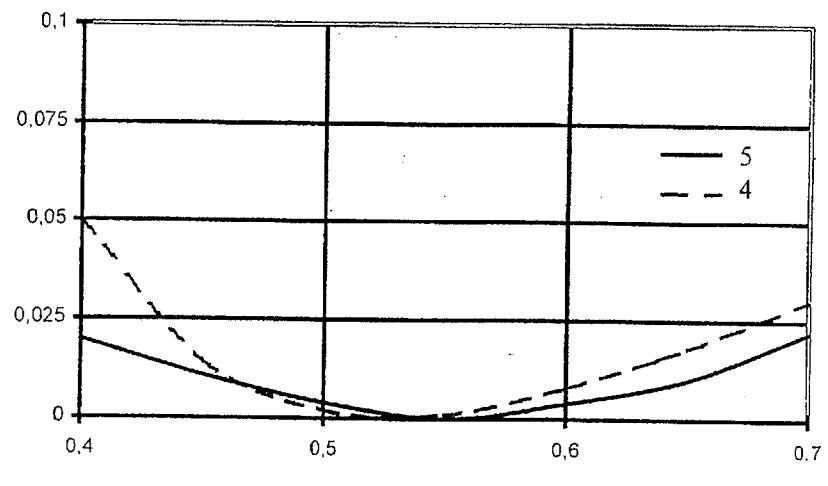
55

60

R U 2 2 0 0 3 3 7 C 2

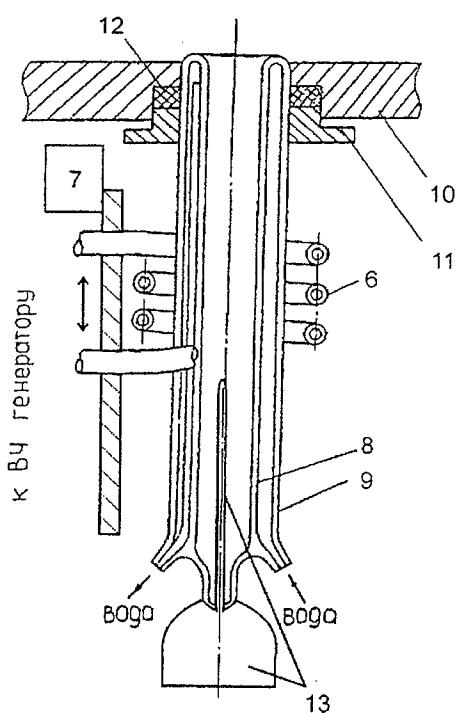
$\lambda, \text{ мкм}$

Фиг.2



R U 2 2 0 0 3 3 7 C 2

Фиг.3



## XP-002284018

AN - 2003-378728 [36]

AP - RU20000129715 20001127

CPY - GALY-I

- KASH-I

- UYKZ-R

DC - L03 P81 V07

FS - CPI;GMPI;EPI

IC - G02B5/22

IN - GALYAUTDINOV R T; KASHAPOV N F

MC - L03-G02B

- V07-F02B

PA - (GALY-I) GALYAUTDINOV R T

- (KASH-I) KASHAPOV N F

- (UYKZ-R) UNIV KAZAN TECHN

PN - RU2200337 C2 20030310 DW200336 G02B5/22 000pp

PR - RU20000129715 20001127

XA - C2003-100578

XIC - G02B-005/22

XP - N2003-302356

AB - RU2200337 NOVELTY - Non-reflecting neutral optical filter can be employed for uniform attenuation of incident radiation. Filter has substrate transparent in spectral range from 0.4 to 0.7 mcm, titanium layer partially transmitting light located on substrate and antireflection layer above it. Antireflection layer is made of titanium oxide  $TiO_x$ , ( with 1 less than x less than 2 where x is oxidation degree of titanium oxide ) with absorption factor of layer of titanium oxide equal to 0.17-0.2. Geometric thicknesses of layers of titanium and titanium oxide correspondingly are 0.028-0.03 and 0.04-0.045 mcm.

- USE - Optics.

- ADVANTAGE - Diminished value of integral reflection factor and number of layers in filter. 3 dwg

- (Dwg.1/1)

IW - NON REFLECT NEUTRAL OPTICAL FILTER

IKW - NON REFLECT NEUTRAL OPTICAL FILTER

INW - GALYAUTDINOV R T; KASHAPOV N F

NC - 001

OPD - 2000-11-27

ORD - 2003-03-10

PAW - (GALY-I) GALYAUTDINOV R T

- (KASH-I) KASHAPOV N F

- (UYKZ-R) UNIV KAZAN TECHN

TI - Non-reflecting neutral optical filter